

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-248937

(43)Date of publication of application : 28.09.1993

(51)Int.Cl.

G01H 17/00

G01M 15/00

(21)Application number : 04-049755

(71)Applicant : ATSUGI UNISIA CORP

(22)Date of filing : 06.03.1992

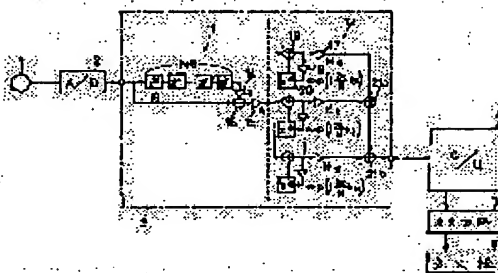
(72)Inventor : WATANABE SATORU
TOMIZAWA NAOMI
KIKUCHI HISAKAZU
NAKASHIZU MAKOTO

(54) KNOCK SENSING DEVICE OF INTERNAL-COMBUSTION ENGINE

(57)Abstract:

PURPOSE: To accomplish high speed processing of wavelet conversion and provide applicability of this type of conversion to analysis of knocking vibration.

CONSTITUTION: A voltage signal emitted by a knocking sensor 1 in accordance with the engine vibration level is A/D converted by an A/D converter 2. The numerical data thus acquired is processed with a frequency sampling filter 3 configured with a comb-form filter 11 and a resonator 12 and having the same impulse response as the specified fundamental wavelet function, and a filter executes the fundamental wavelet conversion. Whether knocking is generated, is sensed with a high time resolution on the basis of the amplitude and phase of the expansion coefficient of wavelet function acquired by the filter.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 31.10.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2764495

[Date of registration] 03.04.1998

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (JP) (12) 特許公報 (B2)

(11) 特許番号

第2764495号

(45) 発行日 平成10年(1998)6月11日

(24) 受理日 平成10年(1998)4月3日

(51) Int. Cl.

P1

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

G01H 17/00

G01H 17/00

G01M 15/00

G01M 15/00

B

A

るよう構成することが好ましい。また、前記所定の基本ウェーブレット関数として、Gabor関数又はラプラシアン・ガウシアン関数を用いると良い。

[0012]

【作用】かかる構成によると、振動振動のアナログ検出信号がディジタル信号に変換され、このディジタル信号が周波数サンプリングフィルタで処理される。ここで、ウェーブレット関数は、時間軸上で局在する関数であり、同一のスケールで時間シフトを行なったウェーブレット関数系に対応する展開係数は、非巡回型フィルタ(Finite Impulse Response フィルタ)の出力に一致することになるから、非巡回型フィルタの実現方法の一つである上記の周波数サンプリングフィルタによって基本ウェーブレット変換が実行されることになる。

[0013] 前記周波数サンプリングフィルタは、楔形フィルタと、並列接続された所定数の共振器とを直接接続して構成でき、更に、楔形フィルタにタングを規定すること、遅延器を行なえるから、前記タング規定によって異なる遅延器数(スケールの異なるウェーブレット関数)に基づくフィルタリングの並行処理が可能となる。

[0014]

【実施例】以下に本発明の実施例を説明する。一実施例のハードウェア構成を示す図2において、ノックセンサ(振動センサ)1は、指示しない内部振動のノックアナログ信号(本体)に付設され、内蔵した圧電素子によって振動振動に反応した波形のアナログ電圧信号を出力する。

[0015] 該ノックセンサ1から出力されるアナログ電圧信号は、A/D変換器2によって所定のサンプリング周波数(例えば50KHz)で数値データ(ディジタル信号)に変換される。そして、前記数値データは、周波数サンプリングフィルタ3(ディジタルフィルタ)で処理される。

[0016] 前記周波数サンプリングフィルタ3の処理結果は、内部振動の共振室に臨ませて設けられる点火栓6による点火時期(点火進角値)ADVを、点火回路5に送る点火信号に基づいて制御するマイクロコンピュータ内蔵のコントローラユニット4に入力され、ノッキング検出手段としての前記コントローラユニット4は、前記周波数サンプリングフィルタ3の処理結果に基づいてノッキング発生の有無を判別し、ノッキング発生時には点火時期ADVを点火角修正して、ノッキングの発生を速やかに回避するようになっている。

[0017] ここで、前記周波数サンプリングフィルタ3の詳細な構成を説明する。前記周波数サンプリングフィルタ3は、図2の概念図に示すように、楔形フィルタ11と並列接続された所定数の基本共振器からなる共振器12とを、直接接続して構成されるディジタルフィルタである。前記楔形フィルタ11は、直列接続されるN個の遅

延器13と、2つの乗算器14, 15と、加算器16とから構成され、N個の遅延器13で遅延されたデータを、乗算器14で乗算係数 α_1 と乗算させ、遅延器13をバイパスしたデータと前記乗算器14の出力とを加算器16で加算し、更に、加算器16の出力に乗算係数15で乗算係数 α_N を乗算して出力する構成となっている。

[0018] また、共振器12は、2つの乗算器17, 18と、加算器19と、遅延器20とから構成される基本共振器とを並列接続し、各基本共振器における乗算器17の出力を加算器21a, 21b, ... で相互に加算して、全ての基本共振器の出力の加算結果を最終的に出力するものであり、基本共振器では、楔形フィルタ11の出力と、加算器19の出力に乗算器18で所定乗算係数 $\alpha \times p(j) \cdot 2\pi/N \cdot k_1$ を乗算し更に遅延器20で遅延させた値とを乗算係数 H_1 を乗算して出力するようになっている。尚、各乗算器17, 18の乗算係数の設定については後に詳細に説明する。

[0019] とここで、本実施例では、振動振動のディジタル信号を、ウェーブレット変換などの展開関数を基底とする直交変換に比して突発的に発生する信号の解析に通じている離散ウェーブレット変換によって解析して、ノッキング発生の有無を検出するものである。前記離散ウェーブレット変換は、信号をウェーブレット関数系に展開し、展開係数により信号の時間・周波数解析を行う手法であり、ウェーブレット関数は、基本ウェーブレット関数 g (i) のスケール変換と時間シフトとにより得られる。

[0020] スケール a 、時間シフト b のウェーブレット関数 $g_{a,b}$ (i) は、

[数11]

$$g_{a,b}(i) = g\left(\frac{i-b}{a}\right)$$

[0022] と定義される。基本ウェーブレット関数 g (i) には、時間軸上、周波数軸上で局在する関数と速さ、従って、ウェーブレット関数 $g_{a,b}$ (i) も時間軸上、周波数軸上で所在する関数となる。図3及び図4に、ウェーブレット関数 $g_{a,b}$ (i) の時間・周波数分布を、スケールを1とした場合及びスケールを1より狭い α に収縮させた場合について示しており、この図から明らかのように、ウェーブレット関数のスケールの膨張・圧縮によって周波数特性を変化させることができることは分かる。

[0023] 前記ウェーブレット関数 $g_{a,b}$ (i) により、信号 s (i) に対する離散ウェーブレット変換は、

[数12]

$$S(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(n) \bar{g}_{a,b}(i) \quad (4)$$

[0025] と定義される。尚、Tはサンプリング周期を示し、 $S(a, b)$ は信号 s (i) のウェーブレット関数 $g_{a,b}$ (i) に対する展開係数を示す。ウェーブレット変換の時間分解能と周波数分解能をフーリエ変換と比較すると、図5及び図6に示すようになり、ウェーブレット変換では、低周波成分は長時間にわたって観測するためにその周波数分布は詳しく把握することができ、それに対して高周波成分は短時間だけ観測するために周波数分解能は劣化するが、時間分解能は向上する。

[0026] ノッキングのような突発性信号は、その発生の性質により高周波成分を含み、然る、持続時間が短い。また、周波数に関する情報のほか、その発生・持続時間の情報も重要である。従って、ウェーブレット変換は、フーリエ変換等の周所関数を基底とする直交変換に

$$\begin{cases} h(nT) = A \sum_{i=1}^N H_i \exp(jnT \frac{2\pi}{N} k_i) \\ \text{for } 0 < n < N-1 \\ h(nT) = 0 \end{cases}$$

for $0 > n$ or $n > N-1$
[0030] とする。楔形フィルタの遅延器数Nと、共振器の個数 k_i を適宜に定めることで、インパルス応答 $h(nT)$ とウェーブレット関数 $g(nT)$ とを、

[数13]

$$\bar{g}(nT) = h(nT)$$

[0032] で示される関係とすれば、周波数サンプリングフィルタ3の出力 $y(nT)$ は、

[数14]

$$y(nT) = \sum_{i=0}^{\infty} \bar{g}((i-n)T) s(iT)$$

[0034] とする。これは、スケール $a=1$ 、シフト $b=nT$ のウェーブレット関数の展開係数 $S(1, nT)$ に一致する。従って、乗算器18の乗算係数を $\alpha \times p(j) \cdot 2\pi/N \cdot k_1$ とし、また、乗算器17の乗算係数を H_1 とすることで、基本ウェーブレット関数とインパルス応答の等しい周波数サンプリングフィルタ3を実現できるものであり、本実施例ではかかる特性のフィルタを基本フィルタと称する。

[0035] 周波数サンプリングフィルタ3において、楔形フィルタ11の遅延器数Nと共振器における乗算係数Aを変更することにより、異なるウェーブレット関数のスケールを実現することができる。周波数サンプリング

出して、ノッキング信号の解析に通じた時間・周波数解析法である。

[0027] ここで、前記数1に示したウェーブレット関数は、時間軸上で局在する関数である。従って、同一のスケールで時間シフトを行なったウェーブレット関数系に対応する展開係数は、非巡回型フィルタ(Finite Impulse Response フィルタ)の出力に一致するものであり、本実施例では前記非巡回型フィルタの実現方法として前述のように周波数サンプリングフィルタ3を用いている。

[0028] 前記周波数サンプリングフィルタ3のインパルス応答は、

$$h(nT) = A \sum_{i=1}^N H_i \exp(jnT \frac{2\pi}{N} k_i)$$

[数15]

for $0 > n$ or $n > N-1$
[0036] フィルタ3において、楔形フィルタ11の遅延器数Nに対して、

[数16]

$$a_1 = N_1 / N \quad (N_1 \text{ は整数})$$

[0037] の関係がある異なるスケール a_1 でのウェーブレット変換を実現するためには、楔形フィルタの遅延器数を決定するNを N_1 に変更し、乗算係数Aを、

[数17]

$$A_1 = \sqrt{N/N_1}$$

[0039] に変更すれば良い。また、周波数サンプリングフィルタ3の性質により、図7の概念図に示すように、1つの楔形フィルタの直列接続されるN個の遅延器列の途中にタングを規定し、各タングに図2における乗算器15以降の構成の共振器とそれ共振器 $R_1 \sim R_N$ として直接接続すれば、1つの楔形フィルタを共通的に用いて異なる異なるスケール $a_1 \sim a_N$ でのウェーブレット変換を行なわせることが可能となる。尚、遅延器の個数を示す N_1 から N_N は、前記数6の関係によりそれぞれ N_1 と N_N の間に決定される。

[0040] 上記の周波数サンプリングフィルタ3によると、全てのスケール($a_1 \sim a_N$)で1サンプリング間

実行される乗算回数は等しく、数値により畳み込み演算を直接実行する場合より高速な処理が可能となる。更に、ハードウェアとして構成する場合、構成が単純であるためLSIレイアウトが容易に行なうことができる。また、並列性が高いため、複数のシグナルプロセッサによる並列処理も容易に実現できる。

【0041】ここで、ノッキング抽出として実験的に適

$$g(n) = \exp \left[- \left(\frac{n}{2} \right)^2 \right]$$

【0043】と示すことができ、本実施例では、 $T = \sqrt{2/10}$ 、 $\omega_0 = 12\pi/128$ としたGabor関数を用いた。この関数を、矩形フィルタの遅延器数Nを128とした。共通遅延器12を構成する並列接続される基本共振器の数を7とした基本フィルタのインパルス応答により近似する。

【0044】そこで、Gabor関数に128点の方形窓をかけてフーリエ変換を行い、最も大きなフーリエ係数をもつ周波数を7つ選んで、基本フィルタの抽出位置を決定する係数 k_i ($i = 0, \dots, 6$) の値を決定した。また、前記係数 k_i に対応する係数 H_i ($i = 0, \dots, 6$) はフーリエ係数と一致させ、図8に示すように、フィルタによって近似された基本ウェーブレット関数を得るようにした。

【0045】前記基本フィルタのスケール a_i は、

【0046】

【0047】

$$a_i = (10\sqrt{2})^i$$

【0047】とし、 $i = -20 \sim 20$ までの50個のスケールでのウェーブレットを、前述のような矩形フィルタに対するタッピングによって行なわせるようにした。しかしながら、数9に示したスケールでは、数6により遅延器数 N_i は楕円とならない。そこで、

【0048】

【0049】

$$N_i = Q[a_i, N]$$

【0049】として遅延器数を整数で近似した。ここで、 $Q[\cdot, \cdot]$ は、数値の小数点以下の部分を意味する。上記の設定において、スケール $a = 1$ である基本ウェーブレット関数及びスケールが最小 ($a = 0.125$) のウェーブレット関数の周波数特性を図9に、また、基本ウェーブレット関数及びスケールが最大 ($a = 4$) のウェーブレット関数の周波数特性を図10に示す。これらの図から明らかなように、ウェーブレット変換の周波数分解能は、低周波数域で高く、高周波数域で低くなる。

【0050】ところで、上記のように50個のスケールの異なるウェーブレット関数によりウェーブレット変換を行なわせるが、かかるウェーブレット変換を直接畳み込み演算により実現した場合、1サンプリング毎の畳み込み演算は8147回となる。これに対して、上記に示した周波

用した具体的な実施例を説明する。まず、基本ウェーブレット関数 $g(n)$ には、Gabor関数を選んだ。このGabor関数は、時間・周波数軸上で広がり方が最小となる関数として知られており、

【0042】

【数8】

$$\exp(j\omega_0 n) \exp\left(-\frac{n^2}{2T}\right)$$

数サンプリングフリクを用いた実施例 (遅延器数の増減を矩形フィルタのタッピングによって実現する実施例) によると、前記畳み込み乗算回数は750回となり、直接畳み込み演算を実行するよりも1/10以下の乗算回数でウェーブレット変換が行なえる。従って、ウェーブレット変換による解析が高速処理でき、以て、高速処理が要求されるノッキング抽出への適用が可能となり、ノッキング抽出をウェーブレット変換を用いて解析させることで、たとえ高周波時であっても高い時間分解能でノッキング発生を検出できる高い品質のノッキング抽出が実現できる。

【0051】次に、異常燃焼時 (ノッキング発生時) 及び正常燃焼時におけるウェーブレット変換の具体的な結果を、図11及び図12に示す。図11(a)、(b)、(c)は、典型的な正常燃焼時の内燃機関の振動を観察した場合であり、図11(a)は振動波形を、図11(b)はウェーブレット変換の振動を、図11(c)はウェーブレット変換の位相を示している。尚、対象とする内燃機関を、自動車用のV型8気筒機関とし、かかる機関を回転数1200rpmで一定運転させ、点火時期を強制的に点火角調節することによって異常燃焼を強制的に発生させた。

【0052】一方、図12(a)、(b)、(c)は、異常燃焼 (ノッキング) が発生している場合を示すものであり、前記同様、図12(a)は振動波形を、図12(b)はウェーブレット変換の振動を、図12(c)はウェーブレット変換の位相を示している。尚、対象とする内燃機関を、自動車用のV型8気筒機関とし、かかる機関を回転数1200rpmで一定運転させ、点火時期を強制的に点火角調節することによって異常燃焼を強制的に発生させた。

【0053】ウェーブレット変換の振動を示す図11(b)及び図12(b)では、振動を黒から白の強度変化により表してあり、黒が振動の最小を、白が振動の最大を示している。同様に、ウェーブレット変換の位相を示す図11(c)及び図12(c)では、黒から白への変化が0から 2π への位相変化を表している。尚、図11及び図12に示すサンプリング期間は、混合気の点火後1.4msから5.4msの間である。

【0054】ウェーブレットの振動を、正常燃焼時と異常燃焼時 (ノッキング発生時) とで比較すると、両者と共通に時間シフト $t_0 = 120$ msに160msをかけて、スケールが2以下の成分が強くなることが分かる。然れ、この成分が異常燃焼の発生と無関係に同一時刻に発生していることにより、異常燃焼に因るものではなくスラップ

音と呼ばれる燃焼振動であることが予測される。

【0055】一方、 $b = 50$ から $b = 100$ サンプリングの間では、異常燃焼が生じている場合のみ、スケールが2から20の周波数成分が大きくなる。また、この期間内に2から20のスケールの振動が大きくなる時間がある。更に、ウェーブレット変換の位相を示す図11(c)及び図12(c)により、 $b = 50$ から $b = 100$ の間で周波数成分の位相を比較すると、異常燃焼が生じている場合には、0から20への位相の変化が20から21のスケールでははっきりと現れているのに対し、正常な燃焼の場合には前記変化が現れていない。

【0056】以上の比較から、回転数1200rpmでは、異常燃焼 (ノッキング) の振動は、スケールが2から20、また、2から20のウェーブレット関数の周波数成分により、混合気点火後2.4msから3.4msにかけて検出できると分かった。従って、上記のような異常燃焼の振動の検出の下で行なわれるべき、各回燃焼で異常燃焼の発生を特定でき、これを判別条件として、実際に燃焼を監視しているときの異常燃焼の発生を、前記特定時間におけるウェーブレットの振動・位相の大きな変化として、燃焼振動と区別して検出することができる。このため、かかるノッキング抽出のソフトウェアを予めマイクロコンピュータ4にプログラム出力しておけば、周波数サンプリングフィルタ3から出力されるウェーブレット変換の周波数成分における振動・位相に基づいてノッキング発生の有無を検出させることができるとする。

【0057】ところで、上記実施例では基本ウェーブレット関数としてGabor関数を用いたが、このGabor関数に代えてラプラシアアン・ガウシアン (Laplacian-Gaussian) 関数を用いても良い。図13は、基本フィルタの設計に用いた前記ラプラシアアン・ガウシアン関数を示し、図14は、基本フィルタによって近似された基本ウェーブレット関数としてのラプラシアアン・ガウシアン関数を示す。

【0058】そして、図15及び図16は、前記ラプラシアアン・ガウシアン関数を基本ウェーブレット関数として用いた場合の正常燃焼時及び異常燃焼時 (ノッキング発生時) におけるウェーブレット変換の振動を示している。この図15及び図16から明らかなように、ラプラシアアン・ガウシアン関数を基本ウェーブレット関数とした場合には、周波数分解能が低い。尚、基本ウェーブレット関数としてGabor関数を用いた場合に比べ、異常燃焼の発生により特徴的にウェーブレット変換の振動が大きくなる部分が不明瞭であるが、異常燃焼に伴う振動特性の変化が鋭く発生し、時間分解能は向上している。このため、ノック成分の振動の時間変化が明確に読み取れるという利点がある。

【0059】

【発明の効果】以上説明したように本発明によると、ノ

ッキング振動のような突発的な信号の解析に適した時間・周波数解析法であるウェーブレット変換を、直接畳み込み演算を行なわせる場合に比べ、高速に処理させることができる。特に高速処理が要求されるノッキング抽出への適用が可能となり、ウェーブレット変換による解析によって燃焼の高周波成分においても高い品質でノッキング発生を検出させることができるようになるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本構成を示すブロック図。

【図2】本発明の実施例のハードウェア構成を示すシステム構成図。

【図3】ウェーブレット関数の時間・周波数分布を示す図。

【図4】ウェーブレット関数の時間・周波数分布を示す図。

【図5】ウェーブレット変換における時間・周波数分解能を示す図。

【図6】フーリエ変換における時間・周波数分解能を示す図。

【図7】振動の異なるスケールでのウェーブレット変換を表現するためのフィルタを示す概念図。

【図8】基本フィルタによって近似された基本ウェーブレット関数を示す図。

【図9】最小スケールのウェーブレット関数の周波数特性を示す図。

【図10】最大スケールのウェーブレット関数の周波数特性を示す図。

【図11】正常燃焼時におけるウェーブレット変換特性を示す図。

【図12】異常燃焼時 (ノッキング発生時) におけるウェーブレット変換特性を示す図。

【図13】基本フィルタの設定に用いたラプラシアアン・ガウシアン関数を示す図。

【図14】基本フィルタによって近似された基本ウェーブレット関数としてのラプラシアアン・ガウシアン関数を示す図。

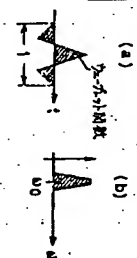
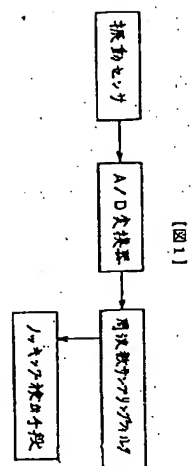
【図15】ラプラシアアン・ガウシアン関数を用いたウェーブレット変換の正常燃焼時の振動特性を示す図。

【図16】ラプラシアアン・ガウシアン関数を用いたウェーブレット変換の異常燃焼時 (ノッキング発生時) の振動特性を示す図。

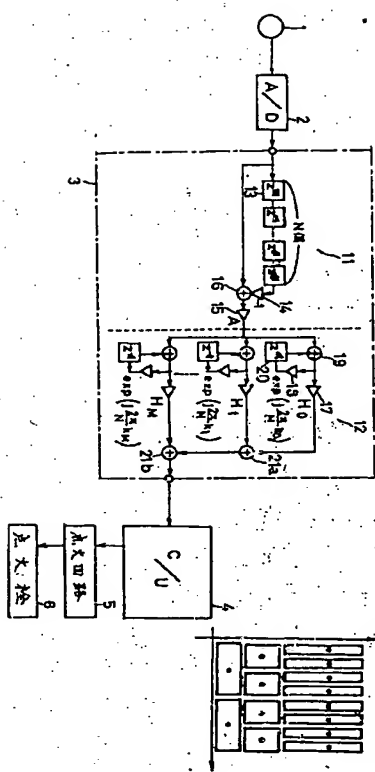
【符号の説明】

- 1 ノックセンサ
- 2 A/D変換器
- 3 周波数サンプリングフィルタ
- 4 コンローラユニット
- 5 点火回路
- 6 点火栓
- 11 矩形フィルタ

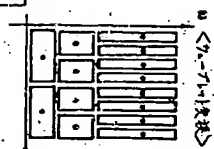
12 共振器



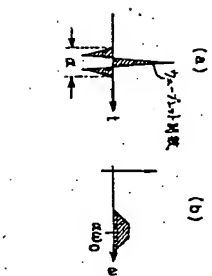
[図2]



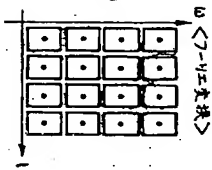
[図5]



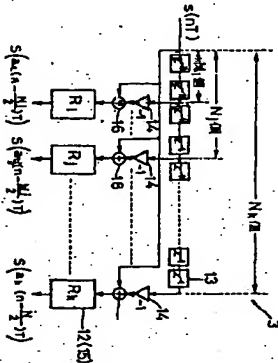
[図4]



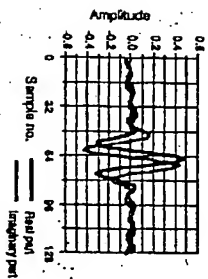
[図6]



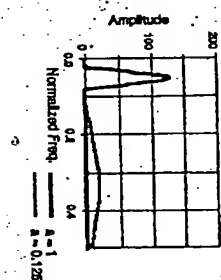
[図7]



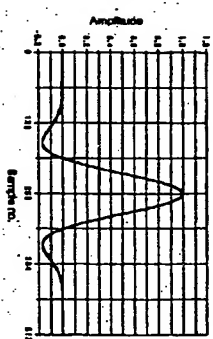
[図8]



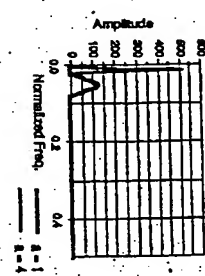
[図9]



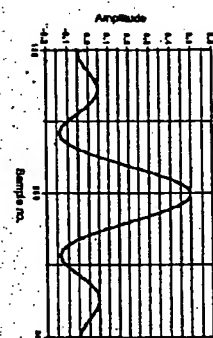
[図13]



[図10]



[図14]



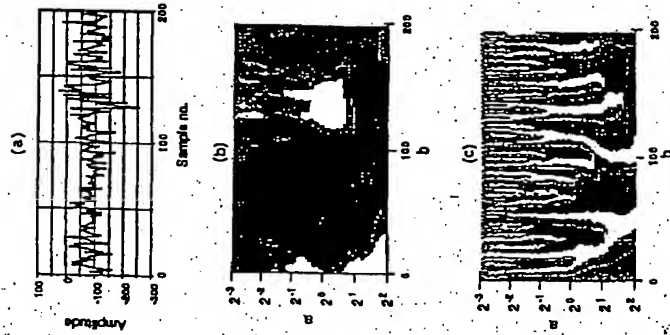
[図15]



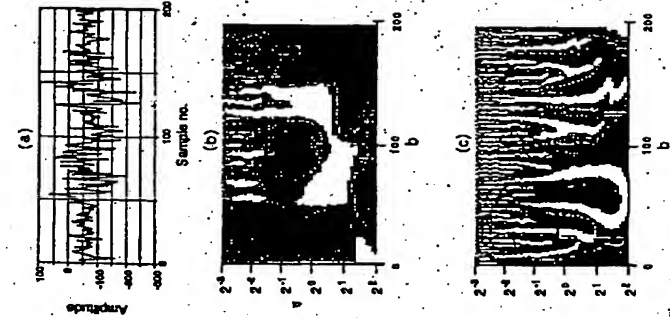
[図16]



【図 1.1】



【図 1.2】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int. Cl.⁴, DB名)
G01H 17/00
G01H 15/00

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)